CN 53-1189/P ISSN 1672-7673

基于 ASCOM 和 Modbus/TCP 协议的天文圆顶控制系统*

和寿圣，辛玉新，伦宝利，范玉峰

（中国科学院云南天文台，云南 昆明 650011）

摘要：圆顶是天文望远镜系统的重要外围设备，随着望远镜技术的发展，圆顶控制技术得到不断进步。为实现云南天文台自动差分像运动大气视宁度监测仪完全自动化，开发了一套基于 ASCOM 和 Modbus/TCP 协议的圆顶控制系统。结合 ASCOM 天文技术标准和 Modbus/TCP 协议规范，详细介绍了系统的结构原理和实现方法。实测结果表明，系统具有较好的稳定性和兼容性，完全满足自动观测的需求，为中小型天文望远镜圆顶设计提供了经验和方法。

关键词：天文圆顶；ADIMM；天文公共对象模型；Modbus/TCP

中图分类号：P111.2；TP273 **文献标识码**：A **文章编号**：1672-7673(2017)03-0356-07

圆顶是天文望远镜系统的重要外围设备，具有保护望远镜使其免受风吹、日晒、雨淋等恶劣天气袭击的功能。随着地面光学天文望远镜研制技术的迅速发展，与之配套的天文圆顶技术也越来越受到关注[1]。首先，圆顶类型越来越多。传统圆顶包括一个可以开启和关闭的天窗[2]，一般可以旋转随动以辅助望远镜跟踪观测。如今各种综合考虑了改善圆顶视宁度、减小风阻和振动等因素的圆顶陆续被研制出来，天文圆顶产品越来越丰富。其次，圆顶控制技术越来越成熟。随着科学技术的不断进步，各种智能控制技术和通信技术在圆顶控制上得到了完美的应用，圆顶已经步入智能化时代。

云南天文台自动差分像运动大气视宁度监测仪(Automatic Differential Image Motion Monitor, ADIMM)的圆顶采用蚌壳折叠式结构，该结构具有成本低、结构简单、控制方便等特点，被广泛应用于中小型天文望远镜系统。由于生产商未提供控制系统，云南天文台自行研制开发了一套基于 Modbus/TCP 协议的圆顶控制系统，并在此基础上增加了天文公共对象模型①(Astronomy Common Object Model, ASCOM)支持，使其具备更好的兼容性和可扩展性。

1 协议介绍

天文公共对象模型是 Bob Denny 为首的 DC-3 Dreams 团队为方便天文控制面板(Astronomer's Control Panel, ACP)②和 MaxIm DL③软件控制望远镜、照相机、滤光片等设备于 1998 年提出的一个天文接口标准，它在控制软件和设备之间引入驱动层，为天文软件供应商和天文仪器厂家提供了一个免费互通的中间桥梁 。如图 1，相对于单一内嵌控制代码和未开放的可扩展驱动天文控制模式，它的优点显而易见：一方面，设备生产商只要提供符合天文公共对象模型标准的驱动程序，就可以将自己的设备挂接到天文公共对象模型平台；另一方面，控制软件只需要针对天文公共对象模型进行操作，无需考虑不同厂家、不同类型设备的特殊性[3]。

Modbus 是 Modicon 于 1979 年提出的一种开放的工业现场总线协议，1999 年该公司公布了基于以太网的 Modbus/TCP 协议，2008 年 4 月，我国正式发布了国家标准 GB/T19582-2008《基于 Modbus 协

---

* 基金项目：国家自然科学基金（11303091，11573067，11473068）资助.
收稿日期：2016-07-12；修订日期：2016-08-17
作者简介：和寿圣，男，硕士. 研究方向：天文技术与方法. Email：heshousheng@ynao.ac.cn

① http://ascom-standards.org/ ② http://acp.dc3.com/ ③ http://www.cyanogen.com/

议的工业自动化网络规范》[4]，使其在我国工业控制领域得到了更为广泛的应用。Modbus/TCP 是基于以太网的传输协议，以太网的链路层校验机制可保证数据包传递的正确性，Modbus/TCP 数据帧不再采用额外数据校验，只要严格遵守协议规定的应用数据单元(Application Data Unit，ADU)格式(如表 1)就能在以太网上实现数据传输[5]。

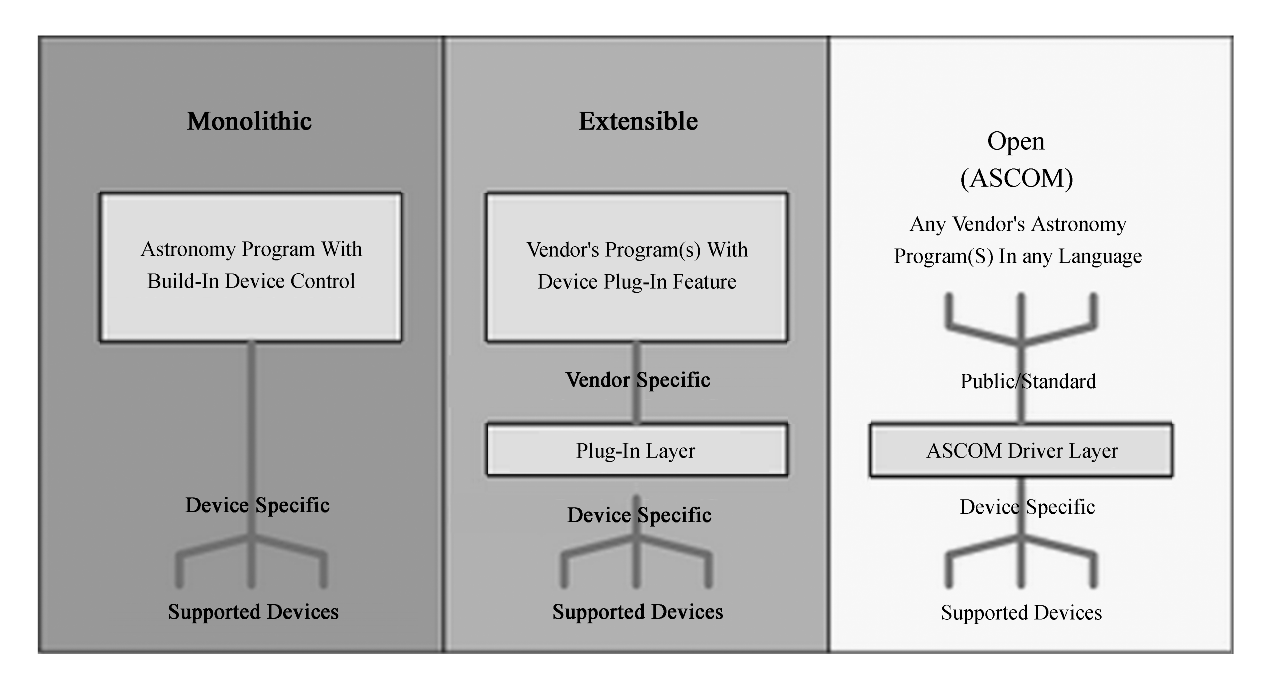


图 1　天文公共对象模型示意图

Fig. 1　ASCOM schematic

2　系统原理

系统结构如图 2，根据蚌壳折叠式圆顶具有左右双开结构的特点，采用可编程逻辑控制器作为圆顶控制器(选择施耐德 Zelio Logic 系列产品 SR3B261BD 和以太网通信接口模块 SR3NET01BD)，通过左右驱动器分别控制左右电机实现圆顶的开合动作，开启和关闭限位开关具有运动限位和状态反馈双重功能。圆顶工作模式有两种：一是通过计算机自动控制，采用 Modbus/TCP 协议实现；二是通过控制面板手动控制，通过按钮直接手动控制圆顶。气象站是自动圆顶必备的外围设备，通常也可以通过计算机连接气象站实现，但考虑其实时性和可靠性，这里采用气象站的雨雪信号直接触发圆顶控制器的方式。

表 1　Modbus/TCP 应用数据单元帧格式

Table 1　Modbus/TCP ADU

帧结构	域	长度	描述
MBAP 帧头	Transaction ID	2	事物标识码，标识帧次序
	Protocol ID	2	协议标识符，0 为 Modbus 协议
	Length	2	数据总长度(Length+2)
	Uint ID	1	单元标识符
功能码	Function Code	1	功能码
数据	Data	Length	发送数据

系统设计充分考虑了圆顶操作的安全性和稳定性：首先，为确保维修人员的安全，控制面板手动开关按钮采用不闭锁常开按钮(按下动作，松开停止)，并且在圆顶内部署了相应的急停按钮，紧急情况可立即停止圆顶运动，最大程度地降低夹伤事故风险；其次，为保护望远镜使其免受恶劣天气袭击，设置自动模式的双层保护：第 1 层是气象站保护，第 2 层是通讯故障保护，即设置 60 s 自动关闭功能，60 s 无动作请求自动关闭圆顶，避免控制软件或者网络通讯等造成的圆顶关闭故障；再次，为有效防止相互碰撞，左右圆顶不能同时动作。

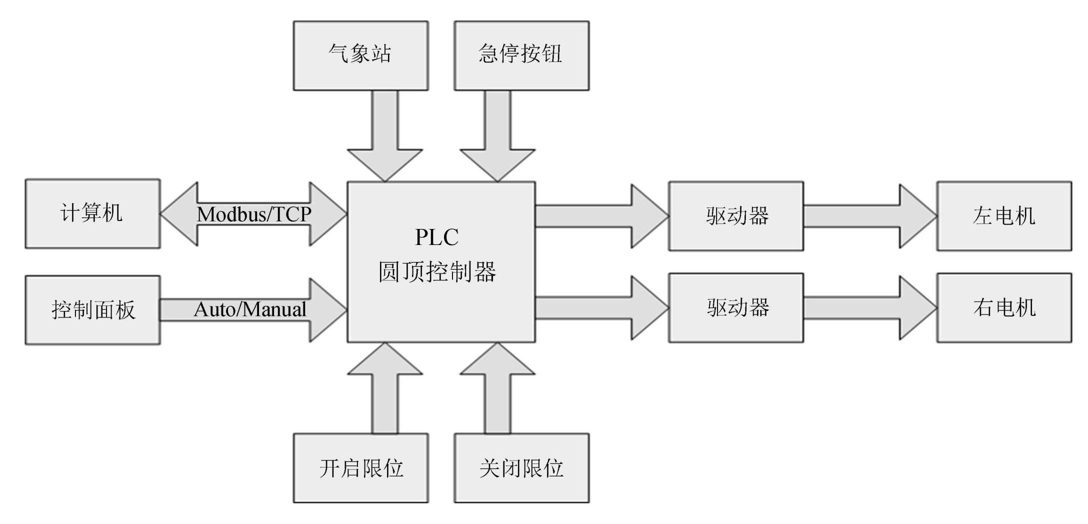


图 2 系统结构示意图

Fig. 2 System schematic

3 软件设计

软件设计包含可编程逻辑控制器控制程序和计算机端天文公共对象模型驱动两部分。

可编程逻辑控制器控制程序采用功能模块图语言编写，考虑将来 Linux 版本天文公共对象模型控制软件的开发，程序参考了云南天文台伽马暴与光学暂现源观测系统(Burst Optical Observer and Transient Exploring System，BOOTES)[6]4 号站圆顶控制并使之相互兼容。如图 3，程序通过对 8 个数字输入量的逻辑判断，实现对 4 个继电器的输出控制，从而实现圆顶的开合功能。输入 I1 为自动/手动切换信号，输入 I2 为开启/关闭圆顶信号，输入 I3～I6 为限位开关(左开限位、左关限位、右开限位和右关限位)，输入 I7 为气象信号，输入 I8 为急停按钮。4 个输出信号分别控制左右圆顶电机的运动。

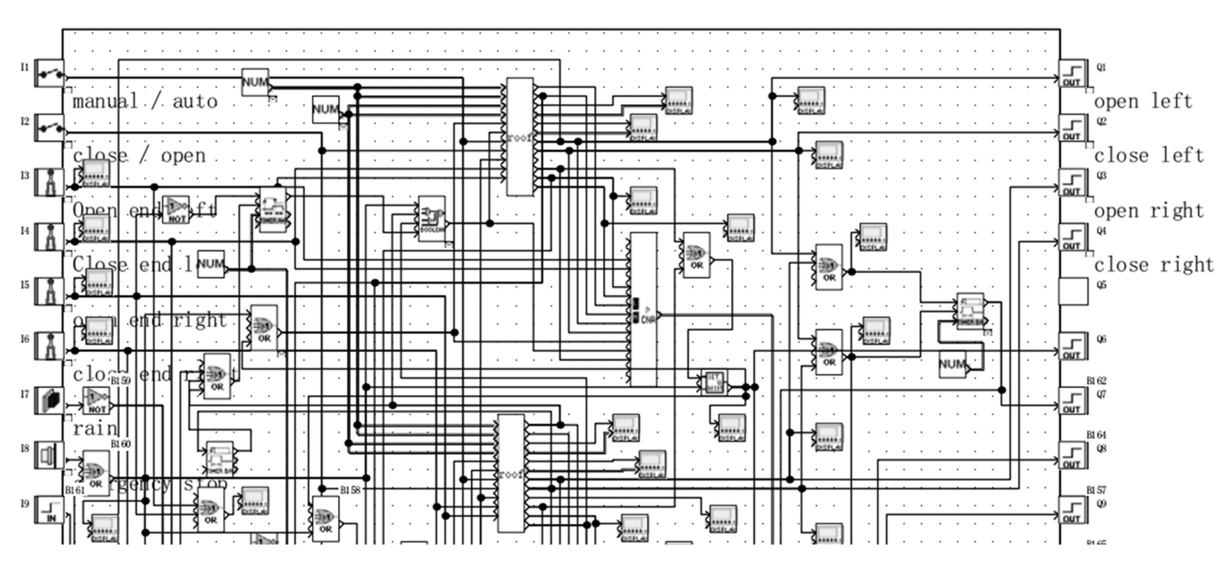


图 3 可编程逻辑控制器时序图

Fig. 3 PLC Program diagram

计算机端天文公共对象模型驱动在微软 visual studio 2010 集成开发环境下采用 C#语言编写，天文公共对象模型平台选择 ASCOM Platform 6 SP2。圆顶驱动实际上是由符合天文公共对象模型标准的各种属性和方法组成的 Dome 类。如表 2 为 Dome 类的一些常见属性和方法，Connected 为连接属性，Altitude、Azimuth 和 CanSlave 为圆顶随动属性，CanSetShutter、ShutterStatus 为天窗操作属性，OpenShutter( )、CloseShutter( )为天窗操作方法。

表 2　Dome 类常用属性和方法

Table 2　Common Properties and methods of Dome Class

名称	描述	名称	描述
Connected	连接属性	CanSetShutter	是否带天窗
Altitude	高度角	OpenShutter( )	开启天窗
Azimuth	方位角	CloseShutter( )	关闭天窗
CanSlave	是否随动	ShutterStatus	天窗状态

软件流程如图 4 (严格意义上说是结合控制软件的流程，天文公共对象模型驱动只是一些离散的属性和方法)，分为连接设备、圆顶操作和断开连接 3 个阶段。连接设备：通过 ASCOM Dome Chooser 选择设备 ASCOM Dome Driver for ADIMM，配置圆顶 IP 地址和端口进行网络连接，初始化圆顶，设置 Connected = True。圆顶操作：开启圆顶，执行 OpenShutter( ) 方法发送开启命令至圆顶控制器，查询圆顶状态直至 ShutterStatus = Opened，然后开启一个小于 60 s 的定时器定时执行 OpenShutter( ) 方法让圆顶保持开启；关闭圆顶需先关闭定时器避免圆顶被再次开启，执行 CloseShutter( ) 方法发送关闭命令至圆顶控制器，查询圆顶状态直至 ShutterStatus = Closed 再返回。断开设备：如有定时器先关闭定时器，关闭圆顶并设置 Connected = False。如图 5 为圆顶连接配置界面，由于圆顶控制器采用网络通信，程序设计时需要考虑把圆顶 IP 和端口保存到计算机中。

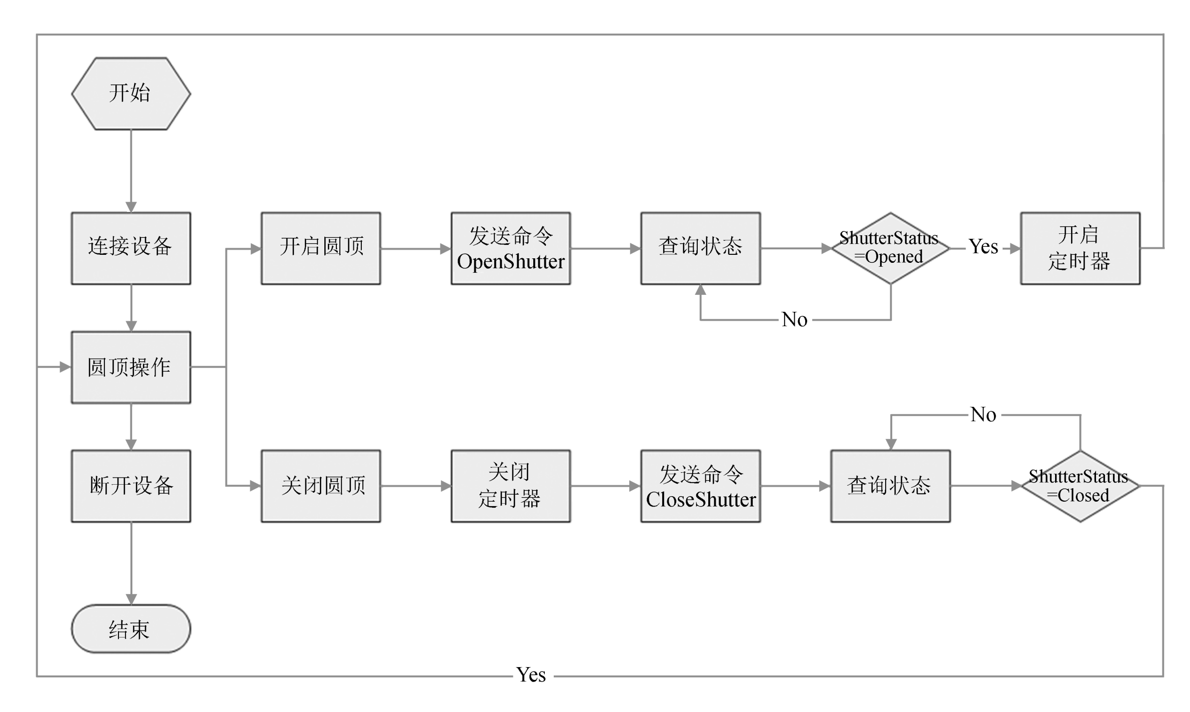


图 4　软件流程图

Fig. 4　Software flowchart

从软件流程可以看出驱动设计思路的关键是将蚌壳折叠式圆顶当作不会随动的经典天文圆顶处理，把圆顶开合操作视为经典圆顶天窗开合操作，这样设计有利于降低软件编写的复杂度，提高稳定性和可靠性。

由于控制软件对天文公共对象模型驱动的调用如发送命令、获取属性等具有特定的时间周期，驱动设计特别需要注意通信阻塞问题，不宜采用同步通信处理耗时间的工作如查询状态等，否则会因为阻塞产生软件假死现象。本设计对网络通讯进行了合理的超时设置，并采用非阻塞线程类定时器，彻底解决了软件通信阻塞的问题。

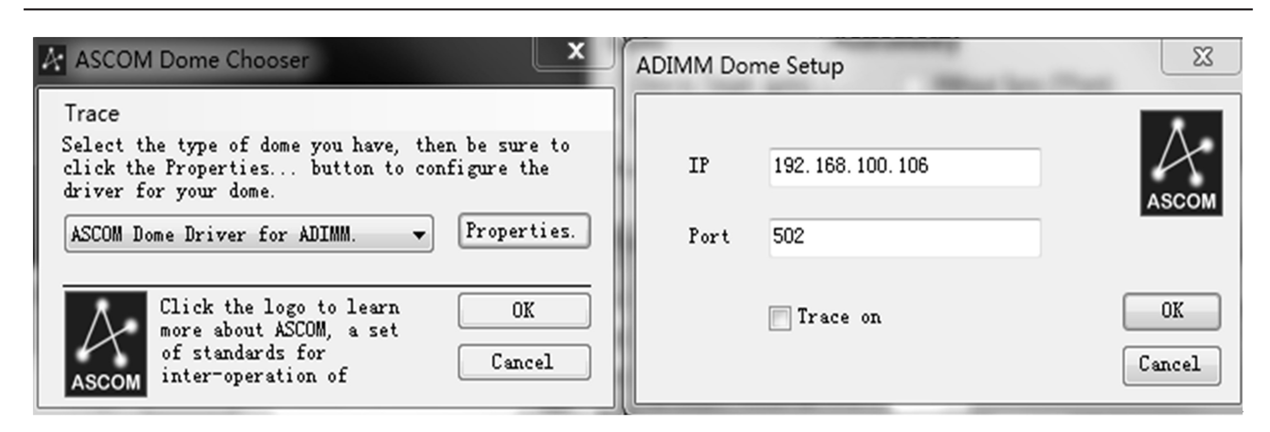


图 5 连接配置

Fig. 5 Connection configuration

4 系统测试

自动差分像运动大气视宁度监测仪天文圆顶的手动控制实现较早，天文公共对象模型支持于2016 年初完成。分别使用 MaxIm DL、MaxPilote 控制软件对其进行多次测试，系统均能正常工作，未出现任何软硬件故障。图 6 和图 7 分别为二者控制圆顶截图，图像左边为相机拍摄的圆顶实时照片截图，图像右边为 TeamViewer 远程登录控制计算机并用天文公共对象模型控制圆顶的截图。

目前云南天文台自行开发的 Windows 版本自动差分像运动大气视宁度监测仪的控制软件已经实现通过 Modbus/TCP 协议对圆顶的控制，下一步将逐步加入天文公共对象模型支持，使其支持更多的兼容设备。

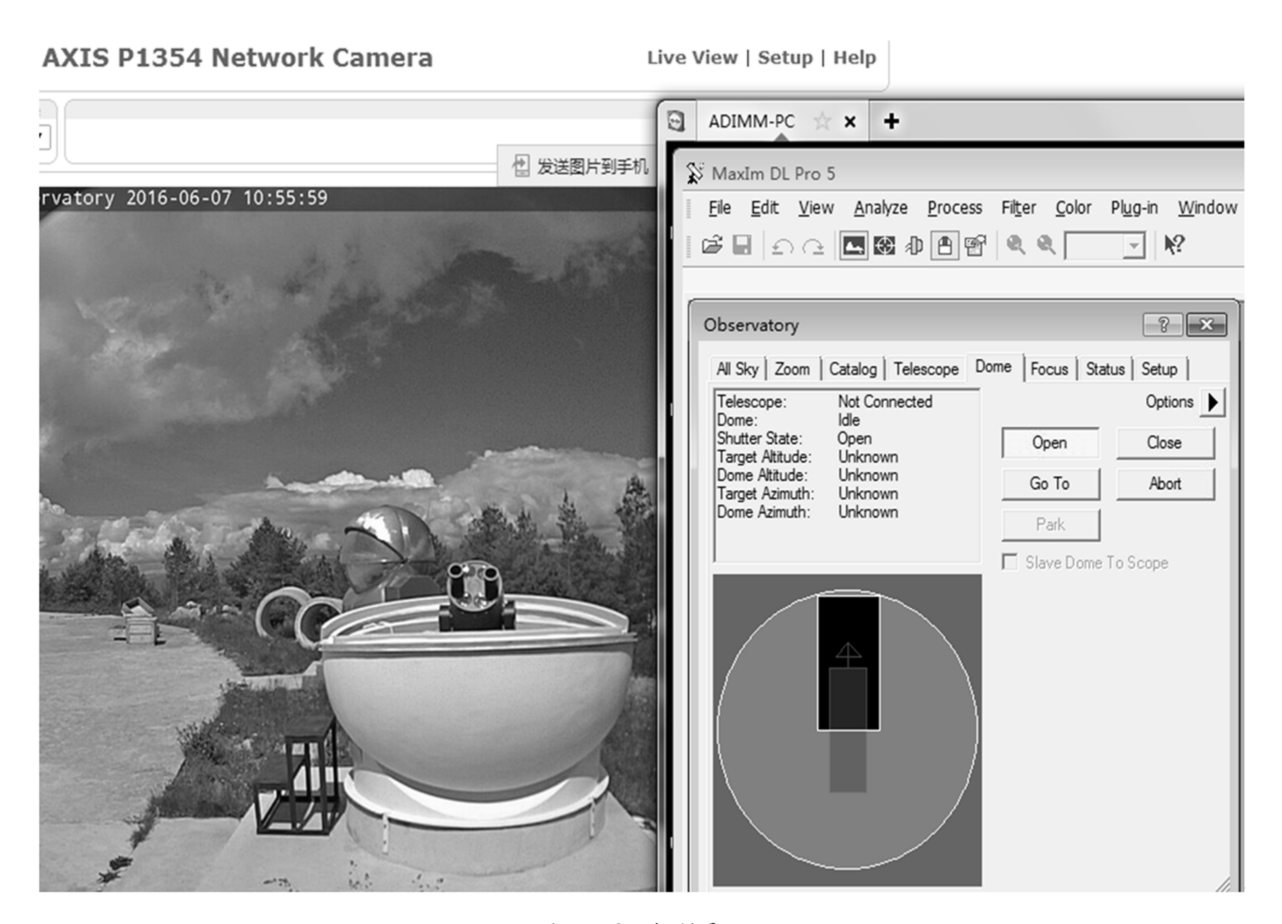


图 6 圆顶控制界面

Fig. 6 Interface of dome control



图 7　圆顶控制界面

Fig. 7　Interface of dome control

5　结　语

自动差分像运动大气视宁度监测仪是云南天文台自行研制的天文站址监测设备，由于全自动无人值守的特性，天文圆顶自动化非常重要。实测结果表明，基于天文公共对象模型和 Modbus/TCP 协议的天文圆顶控制系统具有较好的稳定性、兼容性和可扩展性，为自动差分像运动大气视宁度监测仪完全实现自动观测提供了可靠的保证，同时为中小型天文望远镜圆顶设计提供了可借鉴的经验和方法。

Linux 操作系统下第 2 代远程望远镜系统(Remote Telescope System, 2nd Version, RTS2)④ 已逐渐成为远程望远镜控制系统的标准，该圆顶控制系统设计也充分考虑了对 RTS2 的支持，具备了跨平台的特点，这为将来自动差分像运动大气视宁度监测仪控制软件开发基于 RTS2 的 Linux 版本提供了前提条件和可靠保证。

参考文献：

[1]　姚正秋，周放. 近代天文圆顶发展概况 [J]. 天文学进展，2003，21(3)：206-218.
Yao Zhengqiu, Zhou Fang. Progress in modern astronomical enclouse [J]. Progress in Astronomy, 2003, 21(3): 206-218.

[2]　陆栋宁，黄垒，陈颖为，等. 85 cm 天文望远镜圆顶和天窗自动化系统研制 [J]. 天文研究与技术——国家天文台台刊，2008，5(4)：386-391.

④　http://lascaux.asu.cas.cz/rts2/grb2003proc.pdf

Lu Dongning, Huang Lei, Chen Yingwei, et al. Research and development of the dome/slit control system for the 85cm reflector of NOAC-BNU [J]. Astronomical Research & Technology——Publications of National Astronomical Observatories of China, 2008, 5(4): 386-391.

[3] 彭亚杰, 季凯帆, 梁波, 等. ASCOM 在选址望远镜远程控制中的可用性研究 [J]. 天文研究与技术——国家天文台台刊, 2013, 10(1): 49-54.

Peng Yajie, Ji Kanfan, Liang Bo, et al. The Usability of the ASCOM in remote control of a slit-survey telescope [J]. Astronomical Research & Technology——Publications of National Astronomical Observatories of China, 2013, 10(1): 49-54.

[4] 翁建年, 张浩, 彭道刚, 等. 基于嵌入式 ARM 的 Modbus/TCP 协议的研究与实现 [J]. 计算机应用与软件, 2009, 26(10): 36-38+68.

Weng Jiannian, Zhang Hao, Peng Daogang, et al. On embedden ARM-based Modbus/TCP protocol and its implementation [J]. Computer Applications and Software, 2009, 26(10): 36-38+68.

[5] 李宝仁, 周磊, 周洪. 基于 Modbus/TCP 协议通信节点的实现 [J]. 机床与液压, 2004(12): 153-155.

Li Baoren, Zhou Lei, Zhou Hong. The realization of communication node based on Modbus/TCP protocol [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2004(12): 153-155.

[6] 范玉峰, 辛玉新, 白金明, 等. 丽江站 BOOTES-4 综述 [J]. 天文研究与技术, 2015, 12(1): 78-88.

Fan Yufeng, Xin Yuxin, Bai Jinming, et al. An overview of the BOOTES-4 at the Lijiang Observatory [J]. Astronomical Research & Technology, 2015, 12(1): 78-88.

Astronomical Dome Control System Based on ASCOM and Modbus/TCP Standard

He Shousheng, Xin Yuxin, Lun Baoli, Fan Yufeng

(Yunnan Observatories, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650011, China, Email: heshousheng@ynao.ac.cn)

Abstract: Astronomical dome is an important peripheral of optical telescope system, with the development of the telescope technology, astronomical dome control technology has also been improved. In order to realize the full automation of Yunnan observatory Automatic Differential Image Motion Monitor (ADIMM), an astronomical dome control system based on ASCOM and Modbus/TCP protocol is developed. Combined with ASCOM astronomical technical standard and the Modbus/TCP protocol specification, the control system structure principle and realization method of Yunnan observatory ADIMM astronomical dome control system is introduced in detail. The measured results show that the dome control system has good stability and compatibility, which fully meets the requirements of ADIMM automatic observation, and it provides a reference of experience and methods for the designs of the small and medium-sized astronomical telescope dome.

Key words: Astronomical Dome; ADIMM; ASCOM; Modbus/TCP